№ 6 Warszawa, 25 czerwca 1936 r. Rok XIV

TECHNIKA CIEPLNA

CZASOPISMO ZWIĄZKU STOWARZYSZEŃ DOZORU KOTŁÓW W POLSCE.

REDAKTOR: Inż. techn. JAN KOMARNICKI.
Wydawca: Związek Stowarzyszeń Dozoru Kotłów w Polsce.
REDAKCJA I ADMINISTRACJA: WARSZAWA, PIUSA XI, 32, m. 12. TEL. 8-81-47.
GODZINY BIUROWE ADMINISTRACJI — CODZIENNIE, OD 10 DO 15.

EDMUND CHROMIŃSKI, Prof. Akademji Górniczej.

SPRAWNOŚĆ KOTŁÓW PAROWYCH*)

OBLICZANIE STRAT.

Przy spalaniu się paliwa tworzą się z węgla dwutlenek węgla CO_2, tlenek CO, metan CH_4 i z wodoru woda H_2O w postaci pary, siarka spala się na SO_2 lub SO_3. Obok wyżej wymienionych związków w skład spalin wchodzą jeszcze azot N_2, pochodzący z powietrza i woda powstała z wilgotności paliwa i powietrza, tlen O_2 jako pozostałość z nadmiaru powietrza, doprowadzonego do ogniska i wodór H_2. Najważniejsze właściwości tych składników zawiera nast. zestawienie:

TABLICA I

Składniki	Ciężar cząsteczkowy	Ciężar właściwy kg/m^3 0°/760	ciepło właściwe dla 1 kg przy temp.					
			100°C do 500°C	500°C do 800°C	800°C do 1000°C	1000°C do 1250°C	1250°C do 1500°C	1500°C do 2000°C
CO_2	44	1,964	0,22	0,26	0,27	0,29	0,3	0,34
CO	28	1,250	0,24	0,26	0,26	0,26	0,27	0,28
O_2	32	1,429	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24
N_2	28	1,251	0,25	0,26	0,26	0,26	0,27	0,28
CH_4	16	0,715	0,71	0,90	0,95	1,00	1,10	—
H_2	2	0,090	3,44	3,60	3,65	3,7	3,8	3,9
H_2O	18	0,804	0,50	0,54	0,59	0,62	0,67	0,72
Powietrze	29	1,293	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,27

Pominięto w zestawieniu związki siarkowe, ponieważ przy obliczeniu strat cieplnych dają one znikomo małe różnice, jak również inne poza metanem węglowodory, nie określane dotąd analizą spalin. Do rachunku przyjęto następnie ilość ciepła wytwarzającego się przy spalaniu się jednego kilograma: C na CO_2 — 8100 ciepł. CO na CO_2 — 2440 ciepł., CH_4 na CO_2 i H_2O — 11900 ciepł. H_2 na H_2O — 28700 ciepł, przyczem dwie ostatnie ilości ciepła rozumieć należy jako wartości dolne. Ponieważ wielkości, dotyczące ciepła właściwego i ciepła spalania nie są dokładnie ustalone, powyższe liczby są wypośrodkowane jako średnie i zaokrąglone. Ilości składników, zawartych w spalinach, można obliczać objętościowo i ciężarowo. Ponieważ przy badaniu kotłów wszystko liczy się w kg jak składniki paliw, niedopałków, parę i t. d. sposób obliczania ciężarowy uważam za bardziej wskazany i prostszy. Przy spalaniu się 1 kg C na CO_2 i na CH_4 powstaje 1,865 m^3 wymienionych związków, przy spalaniu się na CO 1.86 m^3 czyli prawie ta sama objętość. Ilość zatem węgla pierwiastkowego C, zawarta w 1 kg paliwa rozdzieli się między CO_2, CO, CH_4 w prostym stosunku do objętości tych gazów, zawartych w spalinach. Nazwijmy przez $Co = C - c$ ilość węgla, zawartą w jednym kg paliwa, a pomniejszoną o pozostałość węgla w niedopałkach, przez co_2, co, ch_4, h_2 i n_2 procentową zawartość dwutlenku, tlenku węgla, metanu, wodoru i azotu, określoną analizą spalin, to ciężar poszczególnych tych składników otrzymamy w następujący sposób:

Na jednostkę objętości $co_2 + co + ch_4$ wypada zużycie węgla $\frac{Co}{co_2 + co + ch_4} = A$, a na co_2 jednostek wyniesie $A . co_2$ części węgla, zawartego w paliwie. Z jednego kg węgla C otrzymuje się, przyjmując wartości zaokrąglone $\frac{44}{12}$ kg CO_2, ilość zatem kg CO_2, odpowiadająca procentowej zawartości co_2 w spalinach będzie $CO_2 = \frac{Co . A}{co_2 + co + ch_4} \cdot co_2 \frac{44}{12}$

czyli

*) Por. *Technika Cieplna* 1936, str. 74.

$$CO_2 = \frac{11 \,.\, Co \,.\, co_2}{3\,(co_2 + co + ch)_4} = \frac{11}{3}\, A \,.\, co_2 \; kg \;.\;.\; 1.$$

Gdy spaliny nie zawierają co lub ch_4 będzie

$$A = \frac{Co}{co_2}\,,\ \text{lub}\ \frac{Co}{co_2 + co}\cdot\ \text{lub}\ \frac{Co}{co_2 + ch_4}.$$

Taksamo otrzyma się ilość CO i CH_4 gdy przyjmie się stosunek ciężaru cząsteczkowego tych związków do ciężaru atomowego węgla.

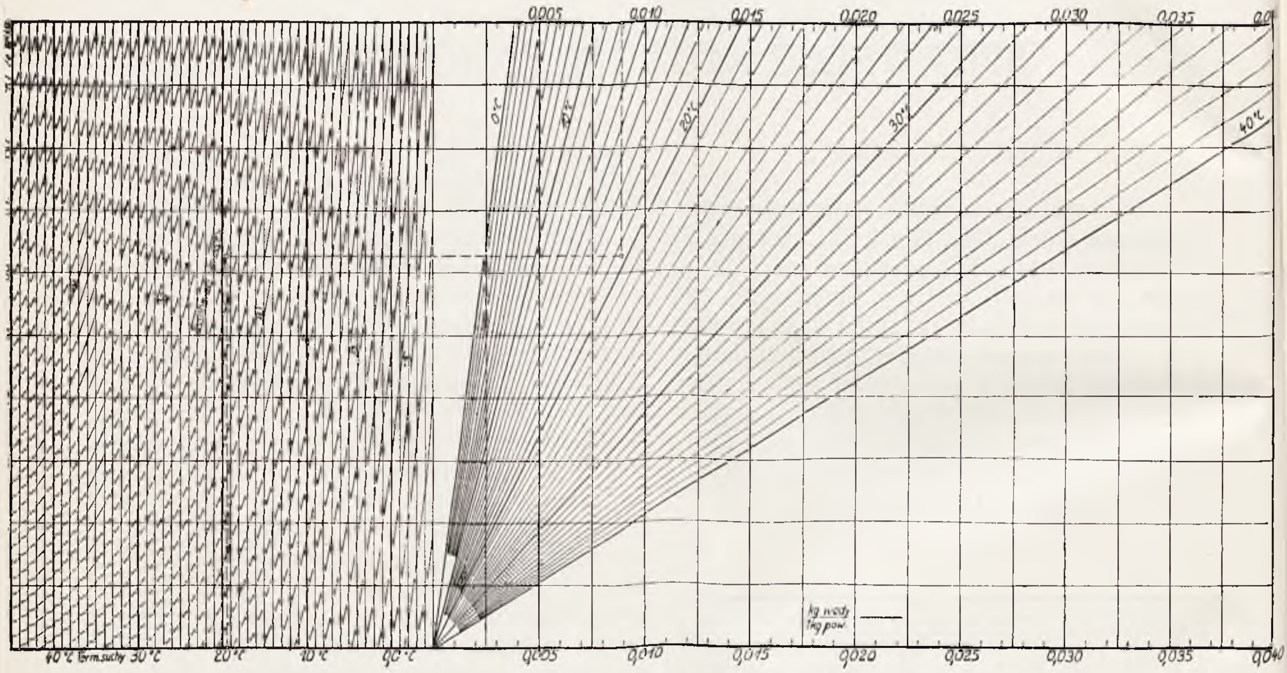
$$CO = \frac{28}{12} \cdot A \,.\, co = \frac{7}{3} \cdot A \,.\, co \; kg \;.\;.\; 2.$$

$$CH_4 = \frac{16}{12} \cdot A \,.\, ch_4 = \frac{4}{3} \cdot A \,.\, ch_4 \; kg \;.\;.\; 3.$$

Ze stosunku ciężarów cząsteczkowych wodoru i dwutlenku 2/44 otrzymamy ilość wodoru:

$$H_2 = \frac{11}{3} \,.\, A\, \frac{2}{44} \,.\, h_2 = \frac{1}{6} \,.\; A \,.\, h_2 \; kg \;.\;.\;.\;.\; 6)$$

Para wodna wytwarza się z wilgoci zawartej w paliwie, powietrzu i ze spalenia się wodoru. Od ilości wodoru H, podanej w analizje paliwa, odjąć należy wodór pozostały w spalinach i w metanie. Ilość kg wody „z", zawartej w 1 kg powietrza można obliczyć z odczytów psychrometru lub wyznaczyć z rys. 2, cała zaś ilość wody, przypadająca na 1 kg paliwa będzie wynosiła:



Rys. 2

Ciężar jednostki objętości tlenu do ciężaru jednostki obj. dwutlenku pozostaje w stosunku ich ciężarów cząsteczkowych 32/44, czyli jednostka objętości tlenu w stosunku do jednostki objętości CO_2 będzie ważyła: $\frac{11}{3} A \,.\, \frac{32}{44}$ kg, a ciężar o_2 jednostek objętości, będzie wynosił:

$$O_2 = \frac{11}{3} \,.\, A \,.\, \frac{32}{44}\; o_2 = \frac{8}{3} \,.\, A \,.\, o_2 \; kg \;.\;.\;.\; 4)$$

Taksamo ze stosunku ciężarów cząsteczkowych azotu i dwutlenku, otrzymamy:

$$N_2 = \frac{11}{3} \,.\, A \,.\, \frac{28}{44}\; n_2 = \frac{7}{3} \,.\, A \,.\, n_2 \; kg \;.\;.\;.\;.\; 5)$$

$$H_2O = W + \frac{70}{23} \,.\, A \,.\, n_2\, z + H \,.\, 9 -$$

$$- \frac{1}{4} \,.\, \frac{4}{3} \,.\, A \,.\, ch_4 \,.\, 9 - \frac{1}{6} \,.\, A \,.\, h_2 \,.\, 9$$

czyli

$$H_2O = W + \frac{70}{23}\, A \,.\, n_2 \,.\, z + 9 \,.\, H -$$

$$- 3\, A\, (ch_4 + 0{,}5 \,.\, h_2)\; kg \;.\;.\;.\;.\;.\; 7)$$

Ilość powietrza, doprowadzonego do paleniska obliczyć można z ilości azotu, pomnożonej przez $\frac{100}{76{,}8}$

$$P = \frac{7}{8}\, A\, n_2\, \frac{100}{76{,}8} = \frac{70}{23} \,.\, A \,.\, n_2\, kg. \;.\; 8)$$

Ilość powietrza, potrzebna teoretycznie do spalania 1 *kg* paliwa:

$$P_t = \frac{100}{23}\left(\frac{8}{3}C + 8H + S - 0\right) kg. \ldots 9)$$

przyczem C, H, S i O należy brać w *kg* z analizy paliwa. Dodane wartości od 1 do 7 dają sumę spalin w *kg*. Ilość ciepła, dochodzącego z powietrzem na 1 *kg* paliwa wyniesie:

$$K = \frac{70}{23} . A . n_2\, 0{,}24\, t_o = 0{,}73 . A . n_2\, t_o \text{ ciepł.} \ldots 10)$$

$$\text{Suma spalin } Sp = \frac{A}{3}\,[11\, co_2 + 7\,(co + n_2) + 8 . o_2 + 9 . n_2 . z - 5\, ch_4 - 4\, h_2] + W + 9H\, kg \ldots\ldots 11)$$

przyczem W oznacza ilość wody, a H ilość wodoru w *kg*, wziętą z analizy paliwa. Obliczenie sumy spalin służy do sprawdzenia dokładności rachunku. Składa się ona z ilości powietrza $P + 1$ *kg* paliwa, pomniejszonego o ilość niedopałków i wody, doprowadzonej z powietrzem. Jeżeli otrzymane z wzorów od 1 do 7 ilości pomnożymy przez ciepło właściwe, podane w zestawieniu (Tabl. 1) w granicach od 100—500 C, otrzymamy po dodaniu wartości ciepło właściwe spalin, pochodzących z jednego kg paliwa, potrzebne do obliczenia strat kominowych:

$$c_p = A\,[0{,}81\, co_2 + 0{,}58\,(co + o_2 + n_2) + 1{,}5\, n_2 z - 0{,}57\, ch_4 - 0{,}17\, h_2] + 0{,}5\, W + 4{,}5\, H \text{ cpł/1 kg} . p . 1^0 C \ldots 12)$$

przyczem W i H wzięte w *kg* z analizy paliwa.

Niech t oznacza temperaturę spalin, a t_0 temperaturę powietrza w kotłowni obliczy się:

Straty kominowe $S_k = c_p\, t - 0{,}73 . A . n_2 . t_0$ ciepł. . 13)

„ z niespal. węgla $S_c = c . 8100$ „ . 14)

„ „ CO $S_{co} = \frac{7}{3} . A . co\, 2440$ „ . 15)

„ „ CH_4 $S_{ch_4} = \frac{4}{3} . A . ch_4\, 11900$ „ . 16)

„ „ H_2 $S_{h_2} = \frac{1}{6} . A . h_2\, 28700$ „ . 17)

Gdy się chce śledzić spadek ciepła w różnych częściach kotła należy mnożyć wartości otrzymane z wzorów od 1) do 7) przez ciepło właściwe, odpowiadające danej temperaturze, a po zsumowaniu otrzyma się c_p dla danych warunków.

Przykład Nr. 1.

Analiza węgla		Analiza spalin	
C	68,75%	CO_2	13,71%
H	4,21%	O_2	5,48%
O	11,23%	CO	0,12%
N	1,29%	H_2	0,11%
S	0,84%	CH_4	0,51%
Woda	9,86%	N_2	30,07%
Popiół	3,82%		
Q	6300 cpł.		

Niedopałków było 9,7% o zawartości węgla 57,0%.

$c = 0{,}0553$ $t = 200^0 C$ $t_o = 10^0 C$ $t_w = 7^0 C$ $z = 0{,}005$

$$A = \frac{C - c}{co_2 + co + ch_4} = \frac{0{,}6875 - 0{,}0553}{13{,}71 + 0{,}12 + 0{,}51} = 0{,}0441$$

$$c_p = 0{,}0441\,[0{,}81 . 13{,}71 + 0{,}58\,(0{,}12 + 5{,}48 + 80{,}07) + 1{,}5 . 80{,}07 . 0{,}005 - 0{,}57 . 0{,}51 - 0{,}17 . 0{,}11] + 0{,}5 . 0{,}0986 + 4{,}5 . 0{,}0421 = 2{,}93$$

$$K = 0{,}73 . 80{,}07 . 0{,}0441 . 10 = 25{,}7 \sim 26 \text{ ciepł.}$$

$S_k = 200 . 2{,}93 - 26$	$= 560$	ciepł.	8.89%
$S_c = 0{,}0553 . 8100$	$= 447$	„	7,06%
$S_{co} = \frac{7}{3} . 0{,}0441 . 0{,}12 . 2440$	$= 30$	„	0,47%
$S_{ch_4} = \frac{4}{3} . 0{,}0441 . 0{,}51 . 11900$	$= 357$	„	5,67%
$S_{h_2} = \frac{1}{6} . 0{,}0441 . 0{,}11 . 28700$	$= 231$	„	0,36%

Suma strat (bez promieniowania) = 22,45%

Gdyby analizę spalin wykonano bez oznaczenia metanu i wodoru straty nie wyznaczone byłyby większe o 6,0%.

$$\text{Suma spalin } S_p = \frac{0{,}0441}{3}\,[13{,}71 . 11 + 7\,(0{,}12 + 80{,}07) + 8 . 5{,}48 + 9 . 80{,}07 . 0{,}005 - 5 . 0{,}51 - 4 . 0{,}11] + 0{,}0986 + 9 . 0{,}0421 = 11{,}59\ kg.$$

Te same wyniki otrzyma się przez obliczenie i zsumowanie poszczególnych składników według wzorów 1 do 7.

1) $CO_2 = \frac{11}{3} . A.co_2 = \frac{11}{3} . 0,0441 . 13,71 = 2,227$ *kg*

2) $CO = \frac{7}{3} . A.co = \frac{7}{3} . 0,0441 . 0,12 = 0,012$ „

3) $O_2 = \frac{8}{3} . A.o_2 = \frac{8}{3} . 0.0441 . 5,42 = 0,641$ „

4) $N_2 = \frac{7}{3} . A.n_2 = \frac{7}{3} . 0,0441 . 80,07 = 8,241$ „

5) $CH_4 = \frac{4}{3} . A.ch_4 = \frac{4}{3} . 0,0441 . 0,51 = 0,030$ „

6) $H_2 = \frac{1}{6} . A.h_2 = \frac{1}{6} . 0,0441 . 0,11 = 0,0008$ „

7) $H_2O = W + \frac{70}{23} . A . n_2 . z +$

$$9\,H - 3\,A \left| ch_4 + \frac{1}{2} . h_2 \right| =$$

$$= 0,0986 + 70/23 . 0,0441 \times 80,07 . 0,005 -$$

$$- 3 . 0,0441\,(0,51 + 0,5 . 0,11) = 0,449 \ kg$$

Suma , . 11,59 *kg*

Ilość ciepła na 1°*C*:

1) 2,227	. 0,22	=	0,487	ciepł.
2) 0,012	. 0,25	=	0,003	„
3) 0,641	. 0,22	=	0,141	„
4) 8,241	. 0,25	=	2,060	„
5) 0,030	. 0,71	=	0,021	„
6) 0,0008	. 3,44	=	0,002	„
7) 0,449	. 0,50	=	0,224	„

Suma $= c_p =$ 2,938 ciepł. $\cong$ 2,93

Ilość powietrza przypadającego na 1 *kg* paliwa wynosi:

$$P = \frac{70}{23} . 0,0441 . 80,07 = 10,74 \ kg$$

Z ilości powietrza otrzyma się sumę spalin, gdy tę wartość się pomniejszy o ilość wody, zawartej w powietrzu, a doda 1 *kg* paliwa, pomniejszony o ilość niedopałków, przypadającą na 1 *kg* paliwa.

W 10,74 *kg* powietrza jest wody 10,74 . 0 005 = 0,053 *kg*, niespalonych zaś części węgla 0,097 *kg* czyli spalonych 1,000 — 0,097 = = 0,903 *kg*.

Ilość zatem spalin, otrzymanych z 1 *kg* węgla będzie wynosiła 10,74 — 0,053 + 0,903 = = 11,59 *kg*.

Z wykresu (rys. 2) łatwo jest wypośrodkować ilość wody zawartej w powietrzu, na podstawie odczytów psychrometru. Kreskowana linja wyjaśnia sposób odczytywania. Punktem wyjścia jest temperatura t_s określoną termometrem suchym, skąd prowadzi się pionową do przecięcia się z krzywą równych temperatur t_w to jest termometru nawilżonego. Ten punkt leży na linji poziomej, wskazującej wilgotność względną, przedłużenie zaś tej poziomej aż do przecięcia się z linją t_s drugiej części wykresu daje w kierunku pionowym odczyt ilości wody w *kg* na 1 *kg* powietrza.

Niedopałki były zebrane w całości, a zawartość w nich węgla wynosiła 57,0%, czyli węgla w niedopałkach pozostało, licząc na jeden *kg* paliwa 0,097 . 0,57 = 0,0553 t. j. 5,53%, niespalonych zaś części otrzymano z analizy paliwa 3,82%, razem 9,3%, odważono zaś 9,7%. Powyższe zestawienia rachunkowe są sprawdzianem dokładności wykonania próby i obliczeń.

PRÓBY UPROSZCZONE.

Sprawność pracy kotłów określamy stosunkiem ciepła otrzymanego w parze do ciepła doprowadzonego w paliwie. Osiąga się ją drogą pomiarów wody zasilającej lub pary odchodzącej z kotła, przy oznaczaniu jej ciśnienia i temperatury, przy równoczesnem ważeniu zużytego paliwa o oznaczonej wartości opałowej. Obok sprawności wypośrodkowuje się wydajność kotła z 1 m^2 *p. o.* w 1 *godz.* Obliczanie strat cieplnych na podstawie niedokładnej analizy spalin i paliwa służy jedynie do przybliżonej oceny procesu spalania i wykrywania wadliwości urządzeń i obsługi.

Przygotowania do takich pomiarów są dość drogie, szczególnie dla większych jednostek, przeprowadzanie prób uciążliwe dla wykonawców i kierownictwa ruchu. Nawet przy najlepszem przygotowaniu i wykonaniu pomiarów nie można uniknąć pewnych błędów i dla tego jest bardzo trudno osiągnąć zgadzające się całkowicie wyniki dwóch prób, przeprowadzonych w tych samych zupełnie warunkach pracy kotła. Najważniejsze z błędów popełnianych niezależnie od wykonawców są następujące:

Ustalenie równowagi cieplnej na początku i na końcu próby bywa nieraz przy wahającym stanie wody w wodowskazie bardzo trudne i przy zamykaniu okresu próby ma się zawsze uzasadnione uczucie niepewności, czy pierwotny stan był na końcu próby osiągnięty. Odczyty okresowe prężności i temperatur i t. d. mogą również odbiegać od średnich wartości, gdy ulegają częstym wahaniom w czasie pomiaru. Do rachunku przyjmujemy następnie zawartość ciepła w parze suchej, gdy ona jest właściwie wilgotna, przy parze zaś przegrzanej przyjmujemy jej średnią temperaturę bez pewności, czy termometr przy danem umieszczeniu taką a nie inną wskazuje. Mogą być również przeoczenia w ważeniu wody i paliwa, niewyśledzone nieszczelności w przewodach, usterki w pobieraniu próbek węgla i t. d. Dlatego przy poręczaniu sprawności pracy kotłów parowych przyjmuje się dość dużą, bo 5-% tolerancję. Nie ma spo-

sobu sprawdzenia dokładności wykonanych pomiarów, gdy straty nie wyznaczone obracać się mogą w dość szerokich granicach.

Dokładniejsza analiza spalin uzupełnia w dużym stopniu braki w zestawieniu strat i ogranicza je do strat promieniowania i dymowych. Powinno się dążyć do ujęcia rachunkowego i tych pozycyj bilansowych, aby uzyskać mocniejsze podstawy do oceny wartości przeprowadzonych badań i zwiększyć stopień dokładności prób cieplnych.

W celu przekonania się w jakich granicach mogą obracać się straty promieniowania, przeprowadziłem 4 dokładniejsze próby w Laboratorjum na kotle lokomobilowym bez otuliny przy prawie bezdymnem spalaniu w czasie dwu pierwszych i słabem bardzo pojawieniu się dymu przy dwu ostatnich próbach. Wszystkie niedopałki były zebrane i poddane analizie.

Licząc wzorem $Q = F . k . (t_1 - t_2)$ otrzymałem spółczynnik k = 5,6, 7,2, 9,1, 9,1 średnio = 8,0. Na utratę ciepła ścian nieotulonych miał duży wpływ, przewiew powietrza w kotłowni. Próby wykonane były nierównocześnie i w niezupełnie jednakowych warunkach atmosferycznych, przy otwartych drzwiach kotłowni. Wykonałem następnie dwie próby na osobno stojącym kotle Tischbeina, z możliwie dużą w danych warunkach dokładnością, głównie w celu przekonania się czy przybliżonym rachunkiem można straty promieniowania w ogólnych choćby zarysach określić. Wyłoniły się trudności w tem, że użyto do prób węgli dymiących. W czasie pierwszej próby pojawiał się krótkotrwały dym po każdorazowem narzuceniu na ruszt świeżego paliwa, w czasie zaś drugiej próby z innym węglem, krótkie tylko były okresy znikania dymu. Dlatego sumę tych dwu strat przy próbie drugiej otrzymałem większą, a temsamem zgodną z rzeczywistością.

Równocześnie z pobieraniem spalin do analizy dokładniejszej wykonano analizę aparatem Orsata, pobierając gaz z tego samego naczynia.

Ważniejsze liczbowe wyniki tych prób podaję w następującem zestawieniu:

Przykład	Nr. 2	Nr. 3
Wartość opałowa węgla	6490 ciepł.	6870 ciepł.
Zużycie węgla *kg/godz*	205,5	198,0
Zawartość popiołu w węglu	11,72%	7,52%
Odważone niedopałki	6,36%	7,53%
Zawartość węgla w niedopałkach	8,50%	29%

Analiza węgla:	Dokładniejsza	Orsat.	Dokładniejsza	Orsat.
CO_2	6,68%	6,19%	6,61%	6,86%
CO	0,00 „	0,00 „	0,00 „	0,00 „
O_2	13,30 „	13,70 „	13,42 „	13,38 „
CH_4	0,28 „	—	0,14 „	—
H_2	0,04 „	—	0,07 „	—

Rozdział ciepła próby Nr. 2.

Kocioł	4545 ciepł.	70,03%	4545 ciepł.	70,03%
S_k	1266 „	19,50 „	1445 „	22,26 „
S_c	84 „	1,29 „	84 „	1,28 „
S_{ch4}	427 „	6,58 „	—	—
S_{h2}	18 „	0,28 „	—	—
Suma	6340 ciepł.	97,68%	6077 ciepł.	93,58%

Straty prom. i dymienia:
150 ciepł. 2,32% 416 ciepł. 6,42%

Rozdział ciepła próby Nr. 3.

Kocioł	4855 ciepł.	70,70%	4855 ciepł.	70,70%
S_k	1310 „	19,07 „	1300 „	18,92 „
S_c	177 „	2,57 „	177 „	2,57 „
S_{ch4}	241 „	3,36 „	—	—
S_{h2}	35 „	0,50 „	—	—
Suma	6608 ciepł.	96,20%	6332 ciepł.	92,19%

Straty prom. i dymienia:
262 ciepł. 3,80% 538 ciepł. 7,81%

Straty nieoznaczone z analizy, wykonanej Orsatem, są jak widać o 4% większe Aby uwzględnić w rachunku węgiel, znajdujący się w popiele lotnym nieodważonym, przyjąłem na podstawie własnych doświadczeń przybliżoną jego zawartość o połowę mniejszą od zawartości w popiele odważonym. W próbie Nr. 2. ilość niedopałków zebranych wynosiła 6,36% o średniej zawartości węgla 8,5%, w popiele zaś było węgla 15,4%, przyjęto zatem dla popiołu lotnego okrągło 8,0%. Na jeden kg paliwa wypada ilość węgla w odważonych niedopałkach 0,0053 kg, czyli 0,53% W odważonych zatem niedopałkach znajdowało się, 6,36 — 0,53 = 5,83% niepalnych części węgla reszta zaś 11,72 — 5,83 = 5,89% przeszła do przelotów. Na jeden kg paliwa wypada węgla w popiele lotnym 0,0589 . 0,08 = 0,005 kg, czyli razem c = 0,0053 + 0,005 = 0,0103 kg. Tak samo obliczono dla próby Nr. 3. c = = 0,0219 kg i takie ilości wzięto do obliczenia strat. Jako straty promieniowania i dymowe pozostały ilości ciepła 150 i 262 ciepł. na 1 kg paliwa. Zmierzono powierzchnie i przybliżoną temperaturę ścian promieniowania i tak: obmurze o powierzchni około 145 m^2 posiadało średnio 37°C, nieotulone części kotła o powierzchni 0,7 m^2 170°C, a dwa metry kwadratowe odrzwicy i zatyczek 65°C, nakrywa dennicy 3 m^2 85°C, temperatura w kotłowni 17°C, przyjąwszy k = 8 otrzymuje się na 1 kg paliwa straty promieniowania w zaokrągleniu 130 i 134 ciepł. czyli 2,00% i 1,95%. Pozostałe straty dymowe wynosiłyby 0,32% i 1,85%. Choć powyższe próby wypośrodkowania strat promienicwania drogą rachunku wypadły pomyślnie, wymagają one jednak potwierdzenia na liczniejszych przykładach, jak również studjów laboratoryjnych celem ustalenia sposobu pomiaru i obliczeń. Dobrze byłoby zachować prosty wzór a okre-

ślić spółczynnik *k* dla różnych warunków, jakie mogą mieć wpływ na jego zmianę.

Przy bezdymnem spalaniu można tą drogą uzupełniać bilanse ciepła i przez sumowanie strat dochodzić do ilości ciepła przejętego przez kocioł, a temsamem określić jego sprawność, a z ilości spalonego paliwa obciążenie. Dopóki nie znajdzie się sposobu określania strat dymowych, trzeba je przyjmować w granicach 3% według jakiegoś klucza, określającego stopień nasilenia dymu.

Przeprowadzenie takiej próby uproszczonej zasadza się na pobieraniu spalin i mierzeniu ich temperatury. Z analiz, odnoszących się do różnych obciążeń rusztu można wyprowadzić krzywą strat, a temsamem sprawności pracy kotła, co do porównania użytkowej wartości różnych gatunków paliwa jest środkiem najlepszym. Określenie natężenia kotła wymaga ważenia paliwa.

Takie ułatwienie pomiarów powinno przyczynić się do udoskonalenia gospodarki cieplnej w zakładach przemysłowych i dać cenny materjał do ulepszenia urządzeń paleniskowych.

Jeżeli straty promieniowania obliczy się w przybliżeniu, a straty dymowe przyjmie na podstawie oceny, to popełni się jakiś błąd. Ten błąd w pewnym choćby stopniu równoważy błędy pomiarów normalnych, wskazane powyżej, a różnica, jaka stąd wyniknie, może wahać się w granicach niewielkiej tolerancji, bez praktycznego znaczenia. W jakim stopniu powyższe założenia są słuszne, wyjaśnić powinny dalsze bardziej szczegółowe badania tego przedmiotu.

Nieodzownym jednak warunkiem osiągania dodatnich wyników z prób uproszczonych jest dokładność w wykonywaniu pomiarów. Na podstawie własnych doświadczeń zwrócić mogę uwagę na następujące okoliczności:

Najwięcej kłopotu w zestawieniu wynii ków pomiaru sprawiają wykonawcom niezgodne analizy węgla i oznaczenie wartośc opałowej rachunkiem i kalorymetrem. Większe różnice stwarzają nieraz położenie bez wyjścia i zmuszają do powtarzania pomiarów. Ilekroć pobrałem próbki węgla po dokładnem zmieszaniu i potłuczeniu i zabezpieczyłem przed zmianą wilgoci przypadkowej, dając je do flaszek dobrze zakorkowanych, zawsze analizy wypadały zgodne i wartości opałowe bardzo do siebie zbliżone. Przesyłanie próbek węgla w naczyniach blaszanych, nawet zalutowanych, jak to najczęściej jest stosowane, nie daje pewności zachowania pierwotnej wilgoci próbki. Dokładniejszej analizy nie można wykonywać w czasie pomiarów, lecz w laboratorjum. Należy przeto brać próbki spalin do naczyń i zasysać je na rtęć. Pobieranie próbek okresowe nie daje dobrych wyników średnich, dlatego zasysanie spalin powinno się odbywać w sposób ciągły do flaszek napełnionych gliceryną, skąd co pewien czas np. co godzinę pobiera się próbki do naczyń małych, dostosowanych do objętości aparatu. Nad wodą i oliwą spaliny zmieniają swój skład, najprędzej zaś tracą dwutlenek węgla w balonach gumowych.

Pożądaną jest rzeczą zakładanie do czopucha dwóch pyrometrów przy zanurzaniu do 1/2 i 1/4 głębokości czopucha, aby wyznaczyć temperaturę jaknajbardziej zbliżoną do średniej.

Poczuwam się do obowiązku złożyć podziękowanie Stow. Dozoru Kotłów w Warszawie i wymienionym wyżej osobom za umożliwienie mi wykonania tej pracy, a zarazem Prof. Dr. Staronce i Dr. L. Czerskiemu za życzliwe udzielanie mi cennych wyjaśnień i porad.

SPROSTOWANIE

W pierwszej części powyższego artykułu drukowanej w poprzednim zeszycie „*Techniki Cieplnej*" należy poprawić następujące usterki korekty:

	zaniast	powinno być
str. 73, kol. lewa, 16 wiersz od góry	wiążące	wiążą
str. 73, kol. prawa, 6 wiersz od góry	wachają	wahają
str. 73, kol. prawa, 2 wiersz z dółu	tylko węgla *D*	Z węgla *D*
str. 74, kol. prawa, 7 wiersz od góry	wyjaśni	wyjaśnią

A. TCHÓRZEWSKI, Inż.

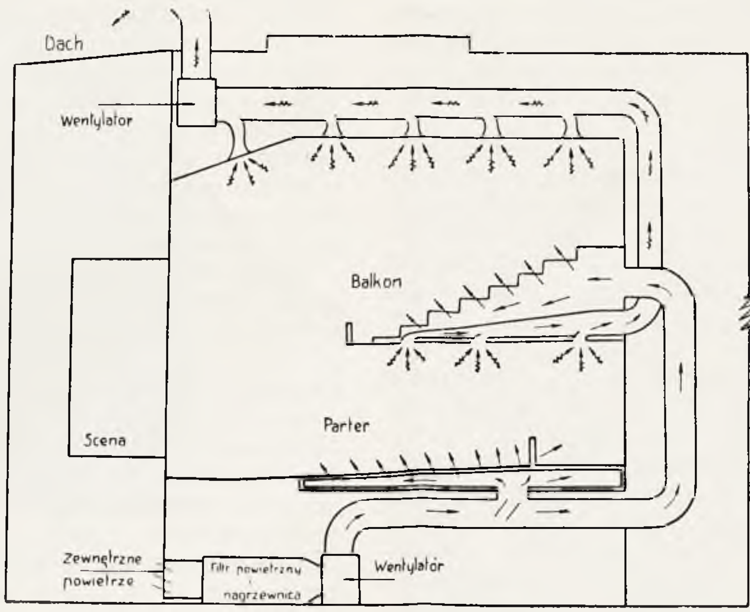
NOWOCZESNE AMERYKAŃSKIE METODY KLIMATYZACJI POWIETRZA*).

Odwrotny kierunek cyrkulacji jest uwidoczniony na rys. 16 i był stosowany w starych instalacjach wentylacyjnych pozbawionych urządzeń chłodniczych. Zastosowanie tego systemu w wypadku chłodzenia powietrza byłoby wielkim błędem, który spowodowałby bezpośrednie oddziaływanie zimnych przeciągów na siedzącą publiczność.

Strona akustyczna w instalacjach dla klimatyzacji powietrza posiada pierwszorzędne znaczenie. O ile są one przeznaczone dla wygody ludzi; pojęcie wygody nie dopuszcza istnienia w pomieszczeniu hałasu lub wibracji części budynku. Źródłem szumu w podobnej instalacji mogą być: kompresor, wentylatory, silniki elektryczne, wiry powietrza tworzące się w kanałach w razie dużych szybkości przepływu, chłodnice natryskowe

*) por. „*Technika Cieplna*", 1936, str. 58

i inne części instalacji. Jest rzeczą niemożliwą w tym wypadku bezwzględne wyeliminowanie szumu, a zarazem i niepotrzebną, gdyż poza szumem od instalacji klimatycznej istnieje w każdem pomieszczeniu pewien, chociażby i nieznaczny szum pochodzący z innych źródeł. Powstaje więc konieczność ustalenia w jakich wypadkach jakie natężenie szumu jest dopuszczalne, i co trzeba robić, aby przy wykonaniu instalacji nie przekroczyć dopuszczalnej granicy. Zagadnienie mierzenia szumu jest problematem stosunkowo nowym. Na podstawie dużej liczby doświadczeń zostało ustalone, że subjektywna siła dźwięku zwiększa się proporcjonalnie do logarytmu natężenia dźwięku, a mianowicie: $L_1 - L_2 = 10 \log_{10} J_1/J_2$, gdzie L — siła subjektywna dźwięku, J — natężenie dźwięku. Jednostką siły subjektywnej dźwięku jest w Ameryce 1 „decibel" (db.). Zero skali siły dźwięku odpowiada dźwiękom o takiem natężeniu, który już nie daje się uchwycić uchem. Dopuszczalna siła szumu w różnego rodzaju pomieszczeniach jest podana w db. na Tab. IV.



Rys. 16.

TABLICA IV.

Pracownia filmów dźwiękowych	6	do	8	db.
Studjum radjowych stacyj nadw.	8	„	10	„
Szpitale	8	„	12	„
Studjum muzyczne	10	„	15	„
Pryw. mieszkania, hot.. małe biura	10	„	20	„
Teatry, kościoły, audytorja, czyt.	12	„	24	„
Kina dźwiękowe	15	„	25	„
Biura	20	„	30	„
Duże biura, bary, restauracje	25	„	35	„
Sale maszyn do pisania i liczenia	35	„	45	„
Wielkie magazyny	40	„	50	„

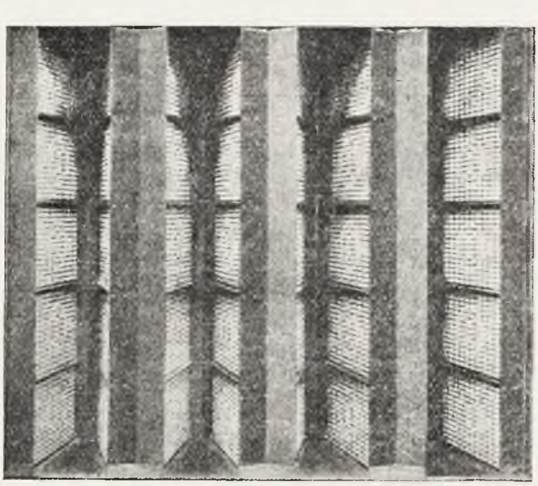
Dane podane w tej tablicy odpowiadają warunkom idealnym i w rzeczywistości rzadko mogą być osiągnięte. Dla sprawdzenia siły subjektywnej szumu istnieją obecnie specjalne przyrządy pomiarowe wyrabiane przez kilka wytwórni w Ameryce.

Dla braku miejsca nie podaję tu podstaw teorji akustyki w zastosowaniu do szumu pochodzącego od urządzeń maszynowych wogóle i urządzeń dla klimatyzacji, w szczególności. Ten dział wiedzy technicznej jest obecnie oparty na ścisłych podstawach i daje możność skutecznie zwalczać szum pochodzący od maszyn. Dla osiągnięcia dobrych wyników w pierwszej linji muszą być prawidłowo dobrane typy i konstrukcje samych urządzeń, a mianowicie wentylatorów, kompresorów, kanałów powietrznych, wylotowych otworów, i t. p. Drugim podstawowym warunkiem bezszumnej pracy instalacji jest unikanie dużych oporów w całym systemie cyrkulacji powietrza oraz stosowanie małych szybkości w kanałach i na wylotach. Fundamenty i zawieszenia urządzeń muszą być zabezpieczone od przenoszenia się wibracji z maszyn na budynek, gdyż podobne wibracje są tak samo niedopuszczalne jak i bezpośredni szum, a pozatem takie wibracje łatwo mogą przeistoczyć się w dźwięk. Pozatem istnieje cały szereg specjalnych metod izolacji dźwiękowej oraz tłumienie dźwięków. Są w tym celu w Ameryce wyrabiane specjalne materjały izolacyjne i tłumiące dźwięk. Stosowanie praktyczne tych wszystkich metod, jak i ogólne opanowanie kwestji szumu w urządzeniach dla klimatyzacji powietrza jest rzeczą trudną i wymagającą gruntownej znajomości fachowej.

W pierwszej części niniejszego artykułu była szczegółowo rozpatrzona kwestja zanieczyszczeń powietrza zarówno pod względem jego składu chemicznego, jak i przez zawiesiny. Urządzenia dla oczyszczenia powietrza używane w Ameryce mogą być podzielone na następujące typy: a) Płuczki powietrzne b) Filtry lepkie, c) Filtry suche.

W tych wypadkach, gdy w klimatyzacji powietrza znajdują zastosowanie ochładzacze typu mokrego: natryskowe lub ociekowe, to wykonywują one równolegle rolę płuczki powietrza. W instalacjach ogrzewniczych są stosowane płuczki odgrywające jednocześnie rolę nawilżaczy i zaopatrzone w tym celu w wężownice grzejne. Natomiast płuczki powietrzne bez chłodzenia wody, a jedynie z cyrkulacją tej samej wody, dla klimatyzacji w lecie są stosowane rzadko, gdyż takie płuczki umieszczone przed wentylatorem tłoczącym powodują nasycenie powietrza wilgocią przy jednoczesnem obniżeniu jego temperatury, a więc zmniejszają wartość poprzednio „uszlachetnionego" w ochładzaczu powietrza. W ochładzaczu z rur żebrowych o bezpośredniem rozprężaniu czynnika chłodzącego rolę płuczki powietrza spełnia częściowo zewnętrzna chłodząca powierzchnia tych rur zraszana przez wilgoć skraplającą się w powietrzu w postaci rosy. Płuczki mogą z powodzeniem usuwać z powietrza gazy rozpuszczające się w wodzie, częściowo substancje lotne, doskonale — kurz, za wyjątkiem cząsteczek sadzy, węgla i innych cząsteczek o powierzchni oleistej, które nie dają się zmoczyć wodą. Jedyny wpływ płuczki na ten ostatni rodzaj zawiesin wyraża się w zlepianiu mniejszych cząsteczek w większe, co ma raczej ujemny wpływ. Stąd widoczna jest konieczność stosowania innych urządzeń dla uzupełnienia działania płuczek, a mianowicie filtrów.

Przed dwudziestu laty zostały w Ameryce wprowadzone filtry lepkie i wywołały prawdziwy przewrót. Zasada ich działania polega na ocieraniu się powietrza o powierzchnie zmoczone oliwą odpowiedniego gatunku i lepkości, do której przylepiają się cząsteczki zawiesin. Ponieważ oliwa zwilża powierzchnię cząsteczek sadzy, i węgla, więc ten filtr uzupełnia wady płuczki powietrznej. Filtry lepkie mogą być typu wymiennego lub automatycznego. Filtry typu wymiennego są wykonywane w postaci ramy umieszczonej prostopadle do prądu powietrza lub w wypadku konieczności zwiększenia powierzchni filtrującej rozmieszczone po linji zykzakowatej rys. 17). W gniazda tej ramy są wstawione oprawy żelazne z kratką lub siatką wypełnione wewnątrz naoliwioną masą włóknistą. Taki filtr osiąga maksymalną wydajność po pewnym czasie pracy, gdy naoliwiona powierzchnia pokryje się już warstwą kurzu. Jednocześnie opór, który stwarza filtr na drodze powietrza, w miarę jego zanieczyszczenia stale wzrasta, tak że w pewnej chwili zachodzi potrzeba zamiany lub regulacji filtra. W filtrach pewnego typu podlega zamianie jedynie masa (rys. 18), w innych typach —cała oprawa wraz z wypełniającą ją masą. Regeneracja tego rodzaju filtrów jest rzadko stosowana w Ameryce i polega na myciu w gorącej wodzie i ponownem naoliwieniu. Filtry typu automatycznego działają na tej samej zasadzie z jedyną różnicą, że sekcje filtrów są umieszczone na taśmie poruszającej się w ten sposób, że każda sekcja w pewnym odstępie czasu zostaje zanużona w wannie z oliwą przez co czynna jej powierzchnia oczyszcza się i pokrywa się warstwą świeżej oliwy. Po-

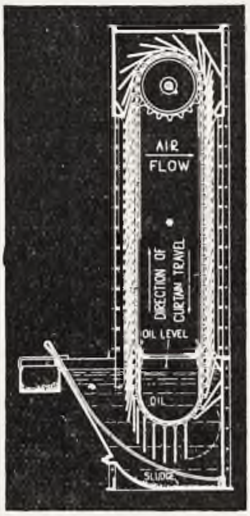


Rys. 17. Filtr wymienny z wełny szklanej o zygzakowatym układzie ram.



Rys. 18
Rama filtra wypełnionego wymienną masą drucianą.

dobny filtr jest uwidoczniony na rys. 19. Inny typ filtra automatycznego składa się z pionowo ustawionych powierzchni, które w pewnych określonych odstępach czasu są zmy-



Rys. 19
Filtr powietrzny typu oliwnego z automatyczną regeneracją.

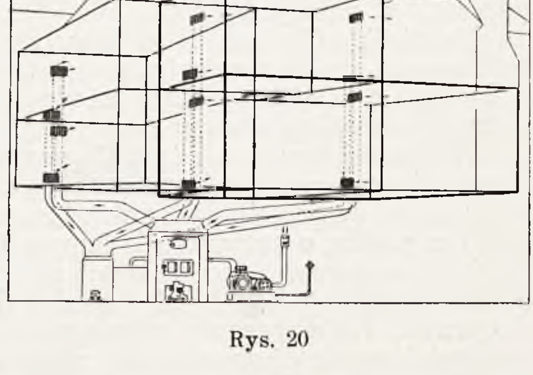
Air Flow—prąd powietrza, Direction of Curtain Travel—kierunek ruchu, Oil Level — poziem oliwy, Oil — oliwa, Sludg e— szlam.

wane przez spływającą z góry oliwę. Zaletą wszystkich filtrów automatycznie regenerowanych jest utrzymanie oporu powietrza na stałym poziomie. Jako masa wypełniająca jest używana zwykle wełna szklana lub stalowa. Masa jest w ten sposób preparowana, że gęstość jej wzrasta w kierunku przejścia powietrza. Tym sposobem zwiększa się pojemnoćś filtra.

W suchych filtrach kurz zostaje zatrzymywany zapomocą siatek z płótna, filcu, celulozy. Pewna huta szklana w U. S. A. wyrabia włóknistą masę szklaną o włóknach z szorstką powierzchnią, która jest używana w suchych filtrach. Budowa filtrów suchych w niczem nie różni się od budowy filtrów lepkich typu wymiennego. Po pewnym czasie siatki lub masa filtrująca podlegają odnowieniu lub regeneracji, która przeprowadzana jest zapomocą odkurzaczy.

Przytłaczająca większość instalowanych obecnie w Ameryce urządzeń dla klimatyzacji powietrza jest całkiem zautomatyzowana. Automatyzacja ta obejmuje samoczynne sterowanie wszystkich wężownic grzejnych i chłodniczych, wentylatorów i pomp oraz klap powietrznych w zależności od szeregu termostatów i hydrantów, — w celu utrzymania w każdem pomieszczeniu temperatury i wilgotności powietrza na określonym stałym poziomie, zarówno w lecie jak i w zimie (oczywiście poziom letni różni się od poziomu zimowego). Częstokroć te automaty są wyposażone w zegary ,które pozwalają poziom temperatury i wilgotności zmieniać automatycznie w ciągu doby w zależności od potrzeby lub nawet w ciągu tygodnia. Pozatem w takich instalacjach zautomatyzowane są same urządzenia grzejne (paleniska) oraz instalacje chłodnicze, które działają bez żadnej obsługi. Celem takiej automatyzacji są nie tyle względy oszczędności na kosztach obsługi, lecz przedewszystkiem duże oszczędności na zużyciu paliwa oraz energji, elektrycznej i wody przez chłodziarkę. W stosunku do instalacji ogrzewniczej automatyzacja daje oszczędność od 10 do 25% zużytego paliwa, a w chłodniarkach oszczędność na energji i wodzie sięga czasami 50%. Poszczególne części aparatury automatycznej: wentyle i klapy zmotoryzowane typu jednokierunkowego, rewersyjnego redukcyjnego, wentyle elektromagnetyczne i pneumatyczne dla różnych płynów i gazów, wentyle kontrolne oraz ekspansyjne typu termostatycznego i barostatycznego, termostaty i hydrostaty najrozmaitszego przeznaczenia i typu, automatyczne urządzenia paleniskowe, i t.p. — osiągnęły w Ameryce wysoką doskonałość i ta właśnie okoliczność miała decydujący wpływ na szerokie spopularyzowanie automatycznych chłodziarek, oraz automatycznych urządzeń ogrzewniczych i klimatyzacyjnych.

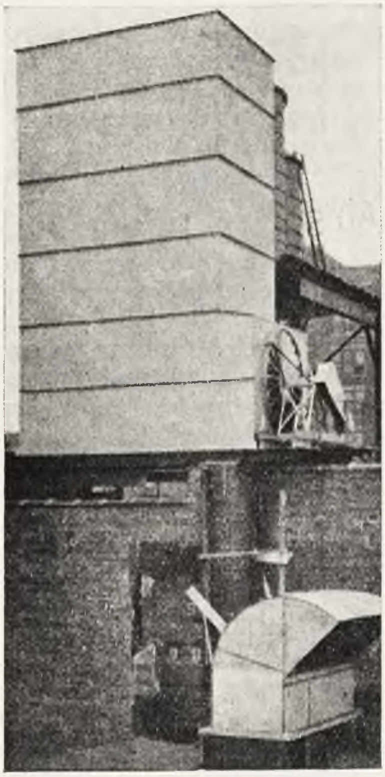
Teraz przedstawię w ogólnych zarysach kilka typowych urządzeń dla klimatyzacji powietrza wykonanych przez przodujące w tej dziedzinie wytwórnie amerykańskie. Na rys. 20 przedstawione są schematy centralnego urządzenia dla klimatyzacji w lecie i zimie prywatnej willi. Ogrzewanie systemu paleniskowo-powietrznego (Warm Air Furnace Sy-



Rys. 20

stem) ze sztuczną cyrkulacją powietrza. Chłodziarka typu sprężarkowego (rys. 9.) Sprężarka tak rozpowszechnionego obecnie w Ameryce typu „Condensing Unit" przy któ-

rym właściwa sprężarka wraz ze skraplaczem, zbiornikiem dla skroplonego czynnika, silnikiem i automatami jest zmontowana na wspólnej płycie żeliwnej zajmującej b. mało



Rys. 21
Wieża chłodnicza dla wody ze sztucznym ciągiem.

miejsca. Sprężarki tego typu są budowane w Ameryce o skutku do 50.000 kal. g. Ochładzacz typu bezpośredniego był już wyżej opisany. Pompa odśrodkowa umieszczona po środku rys. 9 jest przeznaczona dla pompowania wody chłodzącej (po wyjściu ze skraplacza) na dach na wieżę chłodniczą, gdzie jest ona rozpylana zapomocą specjalnych dysz w przestrzeni ogrodzonej żaluzjami i na skutek parowania temperatura obniża się (prawie do temperatury mokrego termometru zewn. powietrza) tak, że może być ponownie użyta do chłodzenia skraplacza. Podobne urządzenie dające wielką oszczędność na wodzie chłodzącej jest pokazane na rys 21 dla wypadku wielkiej instalacji chłodniczej.

Zebrany w tym artykule materjał jest zdaniem mojem wystarczający dla wyrobienia sobie jasnego pojęcia, czem jest w Ameryce „Air Conditioning" i jaki jest jego stosunek do naszego ogrzewania i wentylacji. Uważam, że cel mojego artykułu byłby całkiem osiągnięty gdyby umożliwił naszym sferom technicznym wypowiedzenie się co do realnych możliwości zastosowania u nas klimatyzacji powietrza dla celów wygody, hygjeny i podniesienia wydajności pracy. Osobną kwestję stanowią przemysłowe zastosowania klimatyzacji powietrza, które już są u nas dobrze znane, jednak bez urządzeń dla chłodzenia powietrza. Klimatyzacja powietrza w różnych gałęziach przemysłu przedstawia zagadnienie zupełnie indywidualne i jako takie musi być traktowana.

K. WĘCŁAWSKI, inż.

WYPADKI PORAŻENIA PRĄDEM

W jednej z fabryk w Warszawie zaszedł przy czyszczeniu kotła wypadek porażenia robotnika prądem elektrycznym. Przebieg wypadku był następujący:

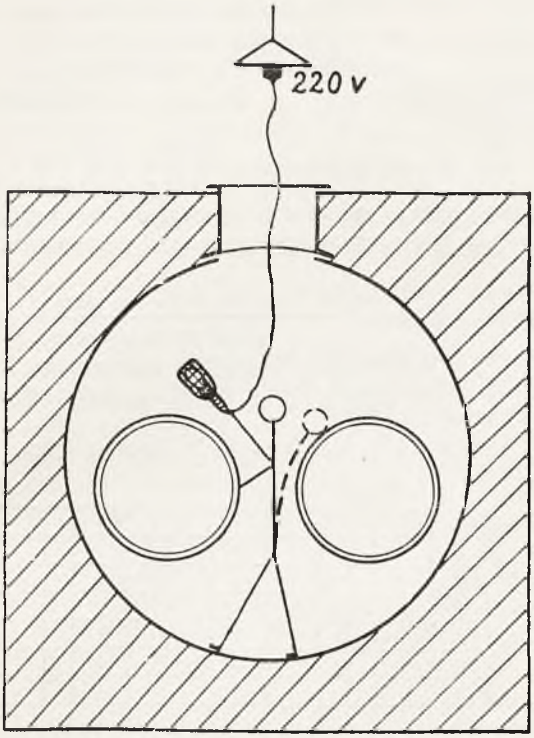
Robotnik C. (rys. 1) w towarzystwie trzech innych czyścił wewnątrz kocioł, używając do tego celu elektrycznego młotka i elektrycznej przenośnej lampy sznurowej.

W pewnej chwili robotnik C spostrzegł, że lampa jego zaczęła elektryzować, więc wyszedł z kotła, udając się do kierownika ruchu fabryki z prośbą o naprawienie lampy. Okazało się, że w oprawce pozostawiono zbyt długie końce przewodników; jeden z nich dotykał oprawki i elektryzował ochronną siatkę. Po zainstalowaniu przewodników robotnik C. wrócił do kotła. W niecałą godzinę potem lampa leżąca na płomienicy zaczęła iskrzyć. Widząc to robotnik C wziął lampę i zaczął jej siatką ochronną dotykać ścian kotła. Z siatki sypały się iskry co sprawiało C. widoczną przyjemność. Pomimo uwag i protestów pozostałych trzech robotników C. bawił się w dalszym ciągu. W pewnej chwili obecni w kotle spostrzegli, że żarówka lampy zgasła, poczem robotnik C. wydał jęk, przechylił się wtył, skurczył ręce z lampą na piersi i pozostał w tej pozycji. Na widok porażonego wszyscy uciekli z kotła, poczem jeden z robotników odłączył lampę od źródła prądu, wskutek czego porażony wypuścił ją z ręki i runął na dno kotła.

Badanie świadków, sprzętu elektrycznego i okoliczności wypadku pozwoliły ustalić dalsze szczegóły wypadku.

Dzień przedtem kocioł był czyszczony przez dwóch robotników. Aparaty elektryczne, używane przez nich, odpowiadały przepisom, gdyż były zasilane specjalnemi transformatorami, redukującemi napięcie sieci ze

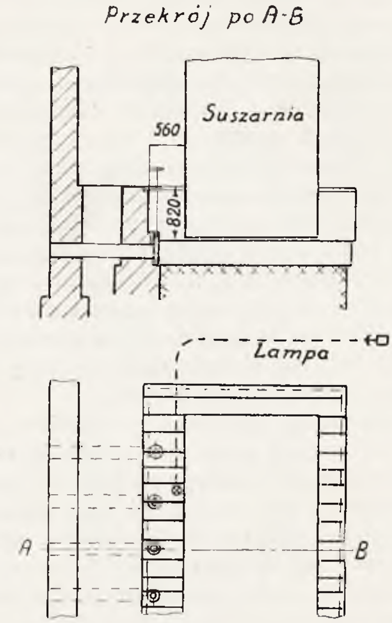
120 V. na 42 V. i 24 V. W celu przyśpieszenia oczyszczenia kotła dodano jeszcze dwóch robotników. Jeden z nich przyniósł własną lampę, lecz bez żarówki, natomiast drugi pożyczył ją w kotłowni. Obaj dla braku żarówek na 24 V włączyli się do sieci 120 V przy pomocy gniazdka wtyczkowego, wkręconego do oprawki lampy, wiszącej nad kotłem. Robotnik C wieczorem poprzedniego dnia uszkodził swą żarówkę niskonapięciową, aby więc nie przerywać pracy pożyczył z kotłowni żarówkę na 120 V i włączył się do tego samego źródła prądu co dwaj poprzedni robotnicy. Po wykonaniu pobieżnej naprawy swej lampy robotnik C, przesuwając nią podczas pracy po ścianie kotła a następnie uderzając siatką ochronną o kocioł spowodował spadnięcie porcelanowego pierścienia oprawki i zwarcie wewnętrznej części oprawki — gwintu z osłoną blaszaną oprawki, dzięki czemu ochrona siatkowa otrzymała pełne napięcie. W chwili ujęcia ręka siatki, prawdopodobnie w celu stwierdzenia dlaczego lampa zgasła, C stojąc boso na ścianie kotła i opierając się plecami o płomienicę został śmiertelnie porażony.



Rys. 1

Rys. 1
Miejsce pracy robotnika C.

Drugi śmiertelny wypadek zaszedł w jednej z fabryk w Częstochowie. Przy oczyszczaniu zasuw maszyny do suszenia płótna jako pomocnik ślusarza pracował robotnik A. S. **Miejscem pracy był kanał, jak wskazuje rys. 2** dość wąski, gdyż o wymiarach 0,56 x 0,82 *m*, położony między fundamentem maszyny do suszenia a samą maszyną.



Rys. 2

Rys. 2
Kanał w którym nastąpił wypadek.

Do oświetlenia użyto lamp przenośnych dołączonych przy pomocy sznurów do źródła prądu o napięciu 220 V.

Ręczna lampa składała się z drewnianej rękojeści, na końcu której znajdowała się zwykła oprawka z ochronną siatką z żelaznego drutu. Jako przewód ruchomy użyty był sznur, okręcony żelaznym drutem.

Po dwugodzinnej pracy, gdy robotnik A. S. kończył czyszczenie zasuwy, ślusarz wyszedł z kanału i poszedł do warsztatu po narzędzia.

Po powrocie ślusarza, po 6 minutach, zastał on robotnika A.S. leżącego w kanale na sznurze lampy i nie dającego znaku życia.

Podczas dochodzenia stwierdzono, że jeden z końców przewodu był wyrwany z oprawki lampy. Prawdopodobny przebieg wypadku był następujący: po ukończeniu czyszczenia drugiej zasuwy robotnik chciał przesunąć się do zasuwy 3. Ponieważ pełzając przycisnął przewód lampy do ziemi, więc spowodował wyrwanie jednego przewodu z oprawki, wskutek czego siatka lub oprawka mogły dostać pełne napięcie. Przy sprzyjających warunkach takich jak w wypadku opisanym musiało nastąpić śmiertelne porażenie.

Wnioski:

Przyczyną wypadków było użycie nieprzepisowego napięcia i sprzętu elektrycznego oraz własna nieostrożność poszkodowanych.

KRONIKA TECHNICZNA

Kotły parowe ogrzewane elektrycznością. [1])

Kotły ogrzewane elektrycznością, czyli t. zw. elektrodowe, wzgl. elektryczne, znalazły zagranicą dosyć szerokie zastosowanie w przemyśle, o stosunkowo małem zapotrzebowaniu pary, do centralnego ogrzewania domów mieszkalnych i budynków fabrycznych i t. p. Według statystyk podanych w literaturze technicznej, w samej Kanadzie ogólna moc zainstalowanych instalacji tego rodzaju przekracza 1000 *M.W.* [2]) w tem jedna z większych instalacyj posiada moc 147 *M.W.* i złożona jest z trzech kotłów każdy po 42 *M.W.* i jednego kotła o mocy 21 *M.W.* W ostatnich czasach tego rodzaju kotły znajdują coraz szersze zastosowanie we Włoszech, tak np. w Lombardji jest 9 instalacyj o ogólnej mocy 67 *M.W.*, które dostarczają parę przeważnie fabrykom, przerabiającym papier.

Instalowanie elektrycznych kotłów ma miejsce nietylko w krajach posiadających tanią energję elektryczną z wodnych elektrowni, jak w Kanadzie, Włoszech i Szwecji, lecz również i tam gdzie jest tanie własne paliwo, jak np. w Niemczech. Coraz szersze zastosowanie kotłów elektrycznych tłomaczy się z jednej strony obecnością nadmiaru energji elektrycznej, który wzrastał wraz z pogłębiającym się ekonomicznym kryzysem, a z drugiej strony zaletami jakie posiadają tego rodzaju kotły. Przedewszystkiem cechuje je stałe ciśnienie robocze nawet podczas gwałtownych wahań odbioru pary, czego w wielu wypadkach wymagają warunki eksploatacyjne, a co osiągnąć można łatwo przez szybką zmianę dopływu potrzebnej energji elektrycznej. Następnie instalacja tego rodzaju wymaga mało miejsca, co znowu pociąga za sobą małe koszta inwestycyjne, tak np. kocioł o wydajności około 10 *t. godz.* pary (obciążenie elektryczne 10 *M.W.*, napięcie 6600 *V*) posiada średnicę 2,3 *m.* i wysokość 2,7 *m.* Kotły te mogą być ustawiane blisko miejsca zapotrzebowania pary, odpadają więc koszta związane z budową kotłowni, a długie przewody parowe zastępują zwykłe przewody elektryczne. Następnie kotły te cechuje znaczne zmniejszenie obsługi tak, że przy większych instalacjach wystarcza jeden człowiek, przy mniejszych i nawet średnich można obejść się wogóle bez stałego dozorowania i wystarcza tylko perjodyczne sprawdzanie ich pracy. Odpada całkowicie transport węgla, usuwanie popiołu i ciągłe dozorowanie ognia. Kocioł elektryczny może być doprowadzony do pełnego obciążenia w czasie kilku minut, a wysoka jego sprawność przy dobrze zaizolowanym walczaku osiąga wartości 96 — 98%.

Rentowność eksploatacji elektrycznych kotłów uzależniona jest od ceny energji elektrycznej.

Między energją cieplną i elektryczną istnieje zależność: 1 *kWh* = 860 *Kal*, z której na rys. 1 podane są obliczenia teoretyczne ilości pary nasyconej, jakie mogą być wytworzone z 1 *kWh*, dla różnych ciśnień i temperatur wody zasilającej.

Koszt wyprodukowania 1 kg pary z węgla wynosi:

$$\text{koszt 1 kg pary} = \frac{\text{koszt 1 kg węgla;}}{\text{odparowanie węgla}}$$

gdzie odparowanie węgla d kg/kg: $d = \frac{Wu \cdot \eta}{i - t_s}$

Wu — dolna wartość opałowa węgla; η — sprawność kotła; $(i - t_s)$ — zawartość ciepła 1 kg. pary mniej temperatura wody zasilającej.

Koszt wyprodukowania 1 kg. pary z elektryczności wynosi:

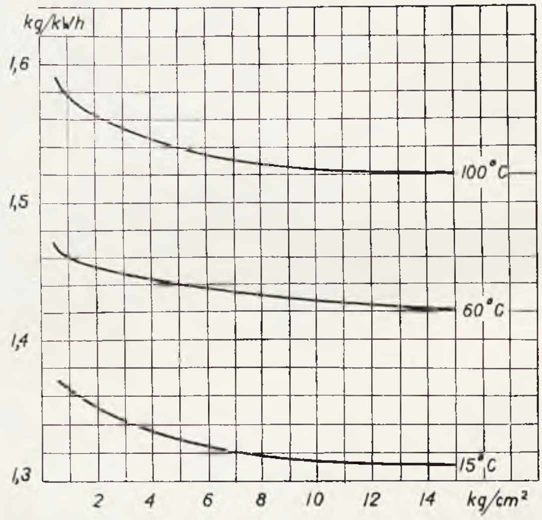
$$\text{koszt 1 kg pary} = \frac{\text{koszt 1 kWh;}}{\text{kg. pary z 1 kWh}}$$

Z powyższych zależności wynika, że w eksploatacji powinna być przynajmniej spełniona następująca równość:

$$\text{koszt 1 kWh} = \frac{\text{koszt 1 kg. węgla} \times \text{kg. pary z 1 kWh}}{\text{odparowanie węgla}}$$

Ogólnie przyjęto, że elektryczne ogrzewanie kotłów będzie ekonomiczne, jeżeli spełniona jest następująca nierówność:

$$\text{koszt 1000 Kal (węgiel)} > \text{koszt 1 kWh.}$$



Rys. 1.

Teoretyczne ilości pary wytworzonej z 1 *kWh* w zależności od ciśnienia i temperatury wody zasilającej.

Zasada działania kotłów elektrycznych polega na przepływie prądu elektrycznego bezpośrednio przez wodę, która w tym wypadku jest elektrolitem. Wskutek przepływu prądu elektrycznego woda nagrzewa się i następuje jej parowanie. Moc kotła dla danego napięcia zależna jest od oporności wody, oraz od przekroju i długości drogi przepływu prądu, czyli zasadniczym czynnikiem określającym wymiary pracującej części kotła jest oporność właściwa wody. Jak wiadomo, zależnie od ilości rozpuszczonych w wodzie soli, oporność właściwa wody zmienia się w szerokich granicach, a mianowicie od 10000 do 300 Ω/cm^3. Oporność ta zmienia się podczas pracy kotła, gdyż część soli wydziela się z wody, a koncentracja pozostałych soli wzrasta wywołując zmniejszenie oporności właściwej. Może się nawet zdarzyć taki wypadek, że obciążenie w W/cm^2 przekroju drogi prądu przekroczy wartości dopuszczalne i nastąpi zwarcie między elektrodami. Do zasilania kotła elektrycznego okazuje się najodpowiedniejszym

[1]) Technika Nr. 12 r. 1935.
[2]) 1 *MW* = 100 *kW*.

kondensat (oporność właściwa 80000 — 10000 Ω/cm^3) z niewielkim dodatkiem sody w tych wypadkach jeśli opór ten trzeba zmniejszyć. Jeżeli wyprodukowana para idzie na fabrykację i kocioł będzie zasilany świeżą wodą, konieczne jest perjodyczne lub stałe odpuszczanie z kotła wody nasyconej solami.

Wzrost oporności wody w kotle zależy nietylko od temperatury, lecz głównie od ciśnienia. Im wyższe jest ciśnienie tem mniejsza jest objętość właściwa pary i tem mniejsza objętość wody wyciskanej pęcherzykami i mniejszy wzrost oporności. Tak np. dane doświadczalne uzyskane w kotle firmy Siemens wykazały, że dla ciśnienia 3 *atn.* wzrost oporności wody w kotle wynosił 22%, a dla ciśnienia 15 *atn.* — 3%.

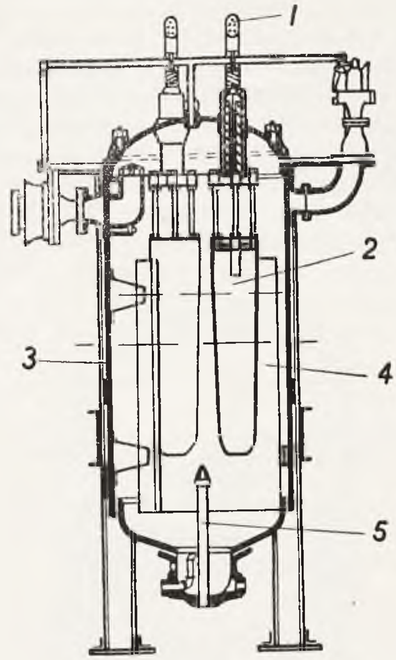
Sam proces zamiany energji elektrycznej na ciepło wskutek wydzielania się pęcherzyków pary przy elektrodach, które to pęcherzyki wyciskają część wody z określonej objętości roboczej kotła, zwiększa pozornie oporność wody i temsamem zmniejsza pobieranie energji elektrycznej. Wywołuje to niespokojną pracę kotła, powodując znaczne wahania elektrycznego obciążenia, które wpływają niekorzystnie na równoległą pracę pozostałych odbiorników energji elektrycznej. Aby uniknąć tych wahań, konieczne jest by obciążenie elektryczne na jednostkę objętości wody w przestrzeni roboczej nie przekraczało pewnych wartości, a konstrukcja samego kotła powinna umożliwiać szybkie odprowadzanie pary ze strefy parowania.

Jeszcze jednym czynnikiem, który ma wpływ na pracę kotła, jest tworzenie się osadów soli na czynnych częściach kotła, a głównie na powierzchniach elektrod Jeżeli powierzchnia elektrod jest zbyt mała to ich temperatura może być wyższa od temperatury wody i wydzielane w procesie parowania sole wytworzą osad na elektrodach, przez co zwiększy się opór przejścia między wodą i elektrodami. Przy dobrze dobranych elektrodach i prawidłowem rozłożeniu strefy parowania, wydzielające się sole opadają swobodnie na dno kotła, skąd już łatwo mogą być usunięte.

Podane poniżej konstrukcje kotłów elektrycznych są najbardziej charakterystycznemi spośród budowanych. Konstrukcja kotła *G. E. C.*, przedstawiona na rys. 2 jest jedną z najprostszych. Prąd przepływa od elektrod (2) do walczaka kotła (3) albo do specjalnego walca (4) jako punktu zerowego, w wodzie, która otacza elektrody. Moc kotła jest zależna od odległości między elektrodami i głębokości ich zanurzenia, natomiast regulacja wydajności uskuteczniona jest przez zmianę poziomu wody w kotle. Zasilanie odbywa się przez rurę (5), której zakończenie rozdziela strumień wody między elektrody. Zasilanie jest tak nastawione, że woda zasilająca omywa elektrody ciągłym strumieniem i w ten sposób skutecznie odprowadza parę ze strefy intensywnego parowania; równocześnie chłodzone są elektrody. W kotłach tej konstrukcji droga przepływu prądu elektrycznego jest o dużym przekroju, jednak strefa intensywnego parowania znajduje się na powierzchni elektrod co przy wzmożonej pracy może wywołać wahania obciążenia elektrycznego i nawet osiadanie osadu na elektrodach.

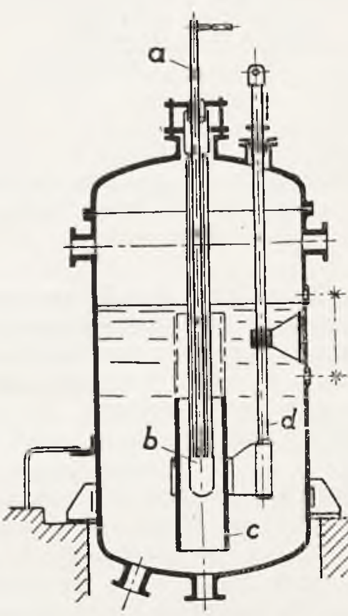
Tego rodzaju kotły znalazły szerokie zastosowanie w Kanadzie, gdzie obciążenie elektryczne jednego z nich dochodzi do 47 *M. W.*

Na rys. 3 podana jest konstrukcja f-ki Brown-Boveri. W górnem dnie kotła przechodzi przez izolator przepustowy szyna *a* do elektrody *b*, a przeciwległą elektrodę stanowi walczak kotła. Dla zwiększenia



Rys. 2.
1 — doprowadzenie prądu elektrycznego, 2 — elektrody, 3 — walczak kotła, 4 — walec uziemiony, 5 — rura zasilająca.

oporności wody umieszczono dookoła elektrody porcelanową tuleję *c*, dzięki czemu prąd przechodzi przez mniejszą objętość wody o większej oporności. Obciążenie elektryczne kotła jest określone przez przekrój i długość drogi prądu w tulei c, natomiast regulacja

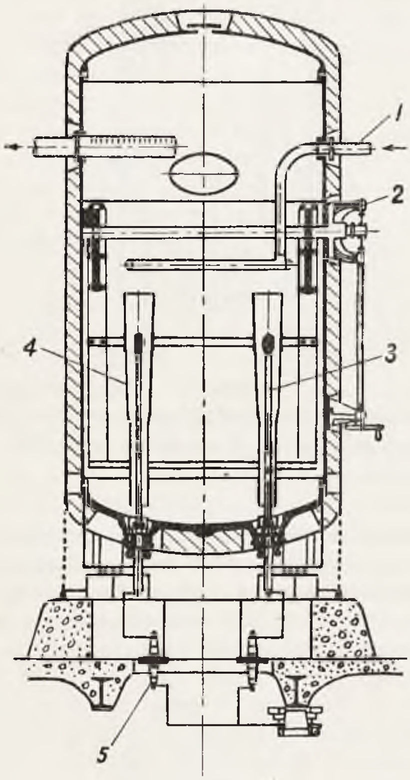


Rys. 3.
a — doprowadzenie prądu, b — elektroda, c — porcelanowa tuleja, d — drążek do nastawiania tulei *c*

wydajności kotła odbywa się przez podnoszenie wzgl. opuszczanie tulei *c* zapomocą połączonego z nią drążka *d*.

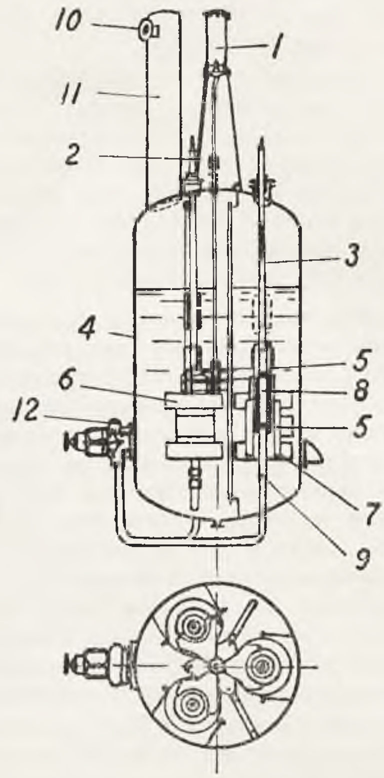
Podobnej konstrukcji jest kocioł elektryczny Brockdorfa f-my Otto-Werke, w którym osłony porcelanowe elektrod składają się z czterech oddzielnych części, oddalanych wzg. zbliżanych do siebie, umożliwiając w ten sposób dokładną regulację pracy kotła.

Na rys. 4 podana jest konstrukcja kotła Wolta (Szwecja) dla wysokich napięć. Elektrody (3) wychodzą z dolnego dna kotła i umieszczone są w izolacyjnych tulejach (4), które zapomocą przenośni mechanicznej (2) mogą być ustawiane na różnych wysokościach. Zasilanie przewidziane jest rurą (1) nad elektrodami.



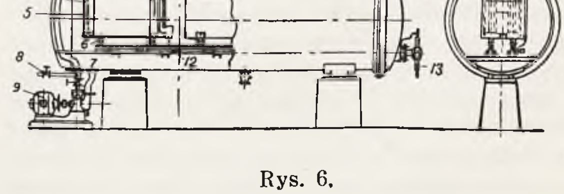
Rys. 4.
1 — rura zasilająca, 2 — mechanizm do nastawiania tulej (4), 3 — elektrody, 4 — tuleje izolacyjne, 5 — izolatory.

W kotle firmy Sulzer (rys. 5) zastosowane jest sztuczne odprowadzanie pary ze strefy intensywnego parowania, co zabezpiecza przed tworzeniem się większych pęcherzyków pary. W dolnej części walczaka (4) znajdują się trzy cylindryczne elektrody (8) położone zależnie od wielkości kotła, wewnątrz jednej lub kilku tulej izolacyjnych. Na zewnętrznej stronie tych tulej znajdują się żelazne pierścienie (6), połączone z korpusem kotła. Odśrodkowa pompa cyrkulacyjna (12) zasysa wodę z kotła na wysokości elektrod i tłoczy ją pod elektrody, wytwarzając w ten sposób stały przepływ wody w strefie parowania i dobre odprowadzanie pary. Regulacja obciążenia odbywa się nastawianiem tulej izolacyjnych (5) zapomocą serwomotoru olejowego (1) sterowanego paru przekaźnikami. Umożliwia to zastosowanie kilku systemów regulacji, a mianowicie regulację na stałe ciśnienie, stałą wydajność, albo na stałe ciśnienie z ograniczeniem wielkości prądu elektrycznego.



Rys. 5.
1 — serwomotor olejowy, 2, 3 — dopływ prądu, 4 — korpus kotła, 5 — ruchoma tuleja izolacyjna 6 — żelazne pierścienie, 7 — nieruchoma tuleja izolacyjna, 8 — elektroda, 9 — rura zasilająca, 10 — odpływ pary, 11 — zbiornik parowy, 12 — pompa cyrkulacyjna.

Na rys. 6 podana jest konstrukcja kotła Massarini (Włochy). W poziomym kotle znajdują się trzy prostokątne zbiorniki (5) z materjału izolacyjnego i niehygroskopijnego, ustawione na izolatorach (6) posiadające po 2 elektrody o dużych powierzchniach. Jedna z elektrod (4) połączona jest z doprowadzeniem prądu, 2-ga (10) z uziemieniem. Pompa odśrodkowa (9) zasysa wodę z dolnej części kotła i przewodem (3) roz-

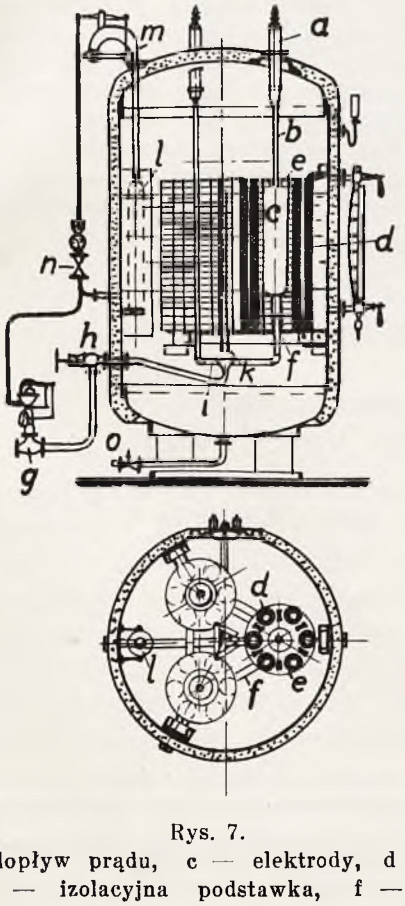


Rys. 6.
1, 2 — dopływ prądu, 3 — przewód zasilający zbiorniki, 4, 10 — elektrody, 5 — zbiornik, 6 — izolatory, 7 — wózek, 8 — zawór zasilający, 9 — pompa cyrkulacyjna, 11 — rura spustowa, 12 — wał nachylający rury (11), 13 — kółko ręczne.

dziela ją między trzy zbiorniki. Wydajność tej pompy jest znacznie większa od maksymalnej wydajności kotła, dzięki czemu zapewniona jest dobra cyrkulacja wody. Regulacja obciążenia odbywa się przez zmianę poziomu wody w zbiornikach, zmieniając nachylenie rur spustowych (11) zapomocą wału i kółka ręcznego (13). W konstrukcji tej powierzchnie elektrod, będące pod prądem są duże dzięki czemu zapewniona jest spokojna praca kotła.

Kocioł Penzolda, rys. 7, posiada elektrody *c* w kształcie wieloboku z wklęśniętemi do środka płaszczyznami bocznemi. Wokół elektrod znajdują się izolatory *d*, które rozdzielają przepływ prądu przez wodę i jednocześnie zmniejszają strefę intensywnego parowania. Prąd przepływa od elektrod do korpusu kotła. Woda zasilająca jest doprowadzana pod elektrody przewodem, wytwarzając w ten sposób stały przepływ koło elektrod. Regulacja wydajności kotła odbywa się automatycznie przez zmianę poziomu wody w kotle zapomocą regulatora Hannemana działającego dźwignią *m* od pływaka *l* na zawór zasilający *g*, wzgl. spustowy *n*. Zasilanie można również uskuteczniać ręcznie przez zawór *h*.

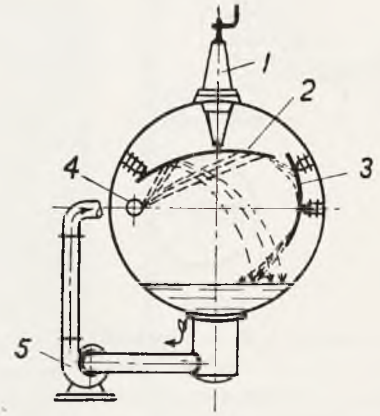
Kocioł firmy Siemens jest konstrukcji podobnej do kotła Penzolda, z tą różnicą, że izolatory położone wokoło elektrod, składają się z płaskich cegieł w kształcie trójkąta.



Rys. 7.

a, b — dopływ prądu, c — elektrody, d — izolatory, e — izolacyjna podstawka, f — wsporna rama, g — zawór zasilający, h — zawór ręczny, i — przewód zasilający, k — przewód do odpuszczania wody z kotła, l — pływak, m — dźwignia regulatora Hannemana, n — zawór spustowy, o — zawór spustowy.

Przedstawiony na rys. 8 specjalny typ kotła Wolta z tak zw. swobodnym strumieniem wody, budowany jest dla bardzo wysokiego napięcia i stosunkowo niewielkich wydajności. W górnej części kotła elektrody (2) posiadają kształt łuków, które z jednej strony podtrzymywane są izolatorami (1), z drugiej strony izolatorami umocowanemi na walczaku. Odśrodkowa pompa cyrkulacyjna (5) zasysa wodę z dolnej części kotła, wtłacza ją do rury znajdującej się pod elektrodami i przez otwory w tej rurze jest skierowany strumień wody na elektrody. Do prowadzenia strumienia wody służy blacha (3) umocowana na pewnej edległości od elektrod. Prąd przechodzi przez strumień wody między elektrodami i uziemieniem, którem jest rura zasilająca (4). Regulacja wydajności odbywa się przez różne nachylenie strumienia wody co pociąga za sobą zmianę drogi prądu od elektrod do uziemienia.



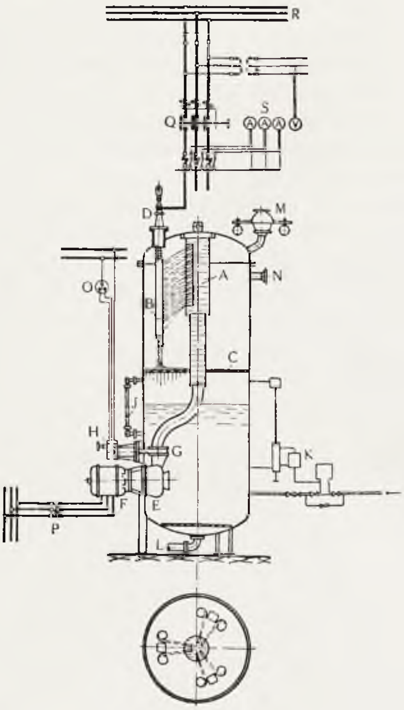
Rys. 8

1 — dopływ prądu, 2 — elektrody, 3 — płyty kierujące wodę, 4 — rury zasilające z przestawnemi otworami, 5 — pompa zasilająca.

Kocioł Brown - Boveri, p zedstawiony na rys. 9 działa również na zasadzie swobodnego przepływu wody, a różnica polega tylko na tem, że odparowanie odbywa się w oddzielnej części kotła. U góry w walczaku pionowym są umieszczone trzy elektrody (2) między któremi znajduje się w środku kotła rura (3) posiadająca trzy pionowe rzędy otworów naprzeciwko każdej elektrody. Pompa cyrkulacyjna (4) podaje wodę z dołu kotła do rury (3), z której wypływające strumienie wody tworzą drogę prądu w kształcie gwiazdy. Regulacja kotła odbywa się przez zmianę wydajności pompy cyrkulacyjnej, dzięki czemu zmienia się poziom wody w rurze (3) a więc i liczba strumieni wodnych na każdej fazie prądu.

Kończąc przegląd najbardziej charakterystycznych konstrukcyj kotłów elektrycznych, należy zwrócić uwagę, że wszystkie one jako uziemiony punkt zerowy wzgl. w kotłach jednofazowych drugą elektrodę, posiadają korpus kotła lub przewód zasilający. Samo uziemienie odbywa się przez masę wody i układ zerowy. Oporność uziemienia punktu zerowego zależy od obciążenia i napięcia prądu, tak np. w małych kotłach o obciążeniu 200 — 300 kW przy napięciu 6600 V oporność uziemienia wynosi 240 — 350 Ω. Chcąc pracować z odizolowanym punktem zerowym należy część

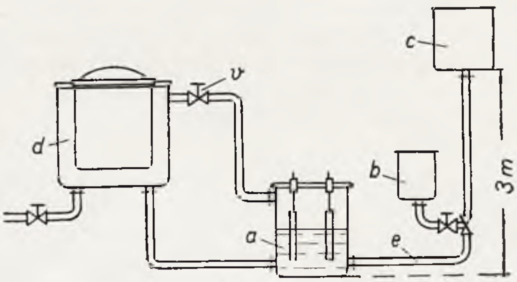
kotła otoczyć materjałem izolacyjnym, co komplikuje i podraża konstrukcję kotła.



Rys. 9.

A — rura z otworami, *B* — elektrody, *C* — przegroda z otworami, *D* — dopływ prądu, *E* — pompa cyrkulacyjna, *F* — motor pompy cyrkulacyjnej, *G* — zawór regulujący obciążenie, *H* — automatyczny regulator ciśnienia, *J* — wodowskaz, *K* — automatyczny regulator poziomu wody, *L* — zawór spustowy, *M* — zawór bezpieczeństwa, *N* — odprowadzenie pary, *Q* — główny wyłącznik, *S* — aparaty elektryczne.

Kotły elektrodowe małej mocy, równie dobrze mogą znaleźć i u nas zastosowanie, a w pierwszym rzędzie tam, gdzie zapotrzebowanie pary jest nieznaczne. Na rys. 10 podany jest schemat małej takiej



Rys. 10.

instalacji kotła jednofazowego, niskiego napięcia, i małej mocy. W przestrzeń wodną kotła *a* są opuszczone dwie elektrody, których odległość między sobą i głębokość zanurzenia, określają moc elektryczną kotła. Para z kotła jest odprowadzana do przestrzeni grzejnej *d* tak, że kondensat z powrotem dostaje się do kotła. Regulacja wydajności odbywa się przez zmianę wysokości poziomu wody w kotle, zapomocą zaworu *v*. Jeżeli zawór ten przymknąć, zmniejszy się odbiór pary, ciśnienie w kotle wzrośnie i para wypycha wodę z kotła do zbiornika *c*, ustawionego na wysokości odpowiadającej maksymalnemu ciśnieniu roboczemu (w danym wypadku wysokość wynosi 3 m t. j. ciśnienie 0,3 *atn*). Wraz z obniżeniem poziomu wody zmniejsza się zapotrzebowanie mocy elektrycznej i w ten sposób moc ta może być sprowadzona do zera. Odwrotnie ze wzrostem odbioru pary podnosić się będzie poziom wody w kotle, moc elektryczna wzrośnie i nastąpi intensywniejsze parowanie. Do napełnienia kotła świeżą wodą służy zbiornik *b*.

W.

Ofiara na Fundusz Obrony Narodowej

Inżynier Tadeusz Rumpel, przypadające mu honorarjum autorskie . . zł. 28.50
Kwota ta została przekazana do P. K. O. na konto czekowe F. O. N. Nr. 6.

Druk. „Zgoda" J. Klimczak i S-ka Warszawa, ul. Zielna 47. Tel. 6-19 57.